

(19) 日本国特許庁 (J P)

公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-166140

(P 2 0 0 0 - 1 6 6 1 4 0 A)

(43) 公開日 平成12年 6 月 16 日 (2000. 6. 16)

(51) Int. Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード (参考)		
H02K 1/27	501	H02K 1/27	501	A	5H621
			501	M	5H622
21/14		21/14		M	

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願平10-331764

(22) 出願日 平成10年11月20日 (1998. 11. 20)

(71) 出願人 000006013

三菱電機株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目 2 番 3 号

(72) 発明者 米谷 晴之

東京都千代田区丸の内二丁目 2 番 3 号 三

菱電機株式会社内

(74) 代理人 100066474

弁理士 田澤 博昭 (外 1 名)

F ターム (参考) 5H621 BB07 GA01 GA04 JK02

5H622 AA03 CA02 CA07 CB03 CB04

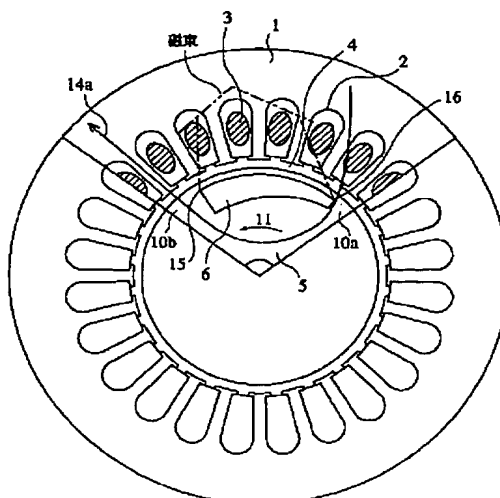
CB05 PP03 PP10

(54) 【発明の名称】 永久磁石式モータ

(57) 【要約】

【課題】 d 軸電流を流すことで、永久磁石による磁束が d 軸電流による磁束によって弱められることになり、リラクタンストルクを併用すると、永久磁石によるトルクが減少するという課題があった。

【解決手段】 永久磁石が作る磁束を電気角 90° よりロータの回転方向の前進側に偏るように構成したものである。



- 1: ステータ鉄心
- 3: ステータ巻線
- 4: 空隙部 (空隙)
- 5: ロータ鉄心
- 6: 永久磁石
- 11: ロータの回転方向
- 15: 前進側
- 16: 後進側

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 円環状のステータ鉄心の内周面に複数相のステータ巻線を巻回したステータと、このステータの内周面と同心でかつ空隙を介して配置されたロータ鉄心に円弧状の界磁用永久磁石を連続して交互に N 極 / S 極になるように円周上に配置したロータとを備え、前記永久磁石によるトルク以外にリラクタンストルクを利用する永久磁石式モータにおいて、前記永久磁石の作る磁束による空隙磁束密度を電気角 90° よりロータの回転方向の前進側に偏るように構成したことを特徴とする永久磁石式モータ。

【請求項 2】 永久磁石は、半径方向の厚みを、ロータの回転方向の前進側を反対の後進側より厚くしたことを特徴とする請求項 1 記載の永久磁石式モータ。

【請求項 3】 永久磁石は、半径方向の厚みを、ロータの回転方向の前進側を反対の後進側より厚くして逆円弧状に形成し、ロータ鉄心内に埋設したことを特徴とする請求項 1 記載の永久磁石式モータ。

【請求項 4】 永久磁石は、半径方向の厚みを、ロータの回転方向の前進側を反対の後進側より厚く形成し、ロータ鉄心の外周面に固定した請求項 1 記載の永久磁石式モータ。

【請求項 5】 永久磁石は、ロータの軸方向の長さを該ロータの回転方向の前進側よりその反対の後進側を短くしたことを特徴とする請求項 1 記載の永久磁石式モータ。

【請求項 6】 円環状のステータ鉄心の内周面に複数相のステータ巻線を巻回したステータと、このステータの内周面と同心でかつ空隙を介して配置されたロータ鉄心に円弧状の界磁用永久磁石を連続して交互に N 極 / S 極になるように円周上に配置したロータとを備え、前記ロータ鉄心に設けた永久磁石によるトルク以外にリラクタンストルクを利用する永久磁石式モータにおいて、前記ロータ鉄心に設けた永久磁石を挿入する穴と該穴に組み付けた永久磁石との間の空間の厚みを、前記ロータの回転方向の前進側が反対の後進側より薄く形成したことを特徴とする永久磁石式モータ。

【請求項 7】 円環状のステータ鉄心の内周面に複数相のステータ巻線を巻回したステータと、このステータの内周面と同心でかつ空隙を介して配置されたロータ鉄心に円弧状の界磁用永久磁石を連続して交互に N 極 / S 極になるように円周上に配置したロータとを備え、前記永久磁石によるトルク以外にリラクタンストルクを利用する永久磁石式モータにおいて、前記ステータとロータとの間の空隙を該ロータの回転方向の前進側が反対の後進側より薄くなるように該空隙の長さを 1 極当たり不均一に形成したことを特徴とする永久磁石式モータ。

【請求項 8】 ロータ鉄心の直径を、各極毎に前進側をその反対の後進側より大きくしたことを特徴とする請求項 7 記載の永久磁石式モータ。

【請求項 9】 円環状のステータ鉄心の内周面に複数相のステータ巻線を巻回したステータと、このステータの内周面と同心でかつ空隙を介して配置されたロータ鉄心に円弧状の界磁用永久磁石を連続して交互に N 極 / S 極になるように円周上に配置したロータとを備え、前記永久磁石によるトルク以外にリラクタンストルクを利用する永久磁石式モータにおいて、前記永久磁石の着磁方向を、空隙方向に磁束を出す極は物理的な永久磁石の周方向中心線より前記ロータの回転方向の前端側にとり、前記ロータの中心方向に磁束を出す極は物理的な永久磁石の周方向中心線より該ロータの回転方向の後端側にとったことを特徴とする永久磁石式モータ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、永久磁石によるトルク以外にリラクタンストルクを併用し、一定方向に回転する永久磁石式モータに関するものである。

【0002】

【従来の技術】近年、永久磁石式モータの効率向上のために永久磁石によるトルクのみならず、リラクタンストルクを併用した永久磁石式モータが利用されている。図 11 はこの種の永久磁石式モータの軸方向断面図を示すもので、図 11 において、101 は円環状のステータ鉄心であり、その内周面にはスロット 102 が等間隔に複数形成されており、このスロット 102 内にステータ巻線 103 が巻かれている。この巻線に電流を流すことで、空隙部 104 に回転磁界を形成する。

【0003】ロータはロータ鉄心 105 および複数の永久磁石 106 ~ 109 によって構成され、ステータ鉄心 101 の内側に空隙部 104 を設けて組み付けられている。この永久磁石 106 ~ 109 はその着磁の向きをおおよそ空隙方向（ロータの外部方向）あるいはその反対方向（ロータの中心方向）に向くようにされており、これが周方向に交互に並ぶことによって極を形成している。以後、空隙側に磁束を出す永久磁石を N 極、反対向きに磁束を出す永久磁石を S 極という。この永久磁石 106 ~ 109 によるトルクは該永久磁石による磁束と上記ステータ巻線 103 に流れる電流によって形成される回転磁界の相互作用によって発生する。

【0004】ここで、永久磁石 106 ~ 109 の作る極の方向（半径方向）を d 軸 111、それと磁氣的に直交する方向（直交方向）を q 軸 114 a とすると、永久磁石 106 ~ 109 が作る磁束によるトルクが最も大きくなるのは d 軸 111 の方向にステータ電流が作る磁束がなく、q 軸 114 a 方向にのみステータ電流が作る磁束が発生している場合である。すなわち d 軸電流を零として q 軸電流のみを流すことで最もトルクを大きくすることができる。以後、これを d 軸電流 0 の制御と呼ぶ。永久磁石によるトルクを式で表すと次式となる。

【0005】

$$T_p \propto \Phi I_q \quad \dots (1)$$

ここで、 T_p : 永久磁石によるトルク

Φ : 永久磁石による鎖交磁束

I_q : q 軸磁束を出すための q 軸電流

リラクタンストルクは、ロータ鉄心 105 の突極部 105a ~ 105d を利用して、ステータ巻線 103 の電流が作る回転磁界との相互作用でトルクを発生するものである。この場合、 q 軸方向に突極部 105a ~ 105d があるため、 q 軸インダクタンスは d 軸インダクタンスより大きくなっており、リラクタンストルクは次式で表される。

【0006】

$$T_r \propto (L_q - L_d) I_d I_q \quad \dots (2)$$

ここで、 T_r : リラクタンストルク

L_d : d 軸インダクタンス

L_q : q 軸インダクタンス

I_d : d 軸磁束を出すための d 軸電流

【0007】上記 (2) 式より、リラクタンストルクは d 軸電流 0 の制御では発生しないことがわかる。よって、永久磁石によるトルクとリラクタンストルクを併用する永久磁石式モータでは、 d 軸電流を流すことによって、永久磁石によるトルクとリラクタンストルクの和が最大になるように制御を行っている。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】従来のリラクタンストルク併用型永久磁石式モータは以上のように構成されているので、 d 軸電流を流すことで、永久磁石による磁束が d 軸電流による磁束によって弱められることになり、永久磁石による磁束が減少することになる。このため、リラクタンストルクを併用すると、永久磁石によるトルクが減少するという課題があった。

【0009】この発明は上記のような課題を解決するためになされたものであり、 d 軸電流を流すことで永久磁石による磁束を弱める割合を減少させるか、あるいは d 軸電流を流した状態で永久磁石によるトルクを最も大きくできるリラクタンストルク併用型の永久磁石式モータを得ることを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】この発明に係る永久磁石式モータは、永久磁石の作る磁束による空隙磁束密度を電気角 90° よりロータの回転方向の前進側に偏るように構成したものである。

【0011】この発明に係る永久磁石式モータは、永久磁石の半径方向の厚みを、ロータの回転方向の前進側を反対の後進側より厚くしたものである。

【0012】この発明に係る永久磁石式モータは、永久磁石の半径方向の厚みを、ロータの回転方向の前進側を反対の後進側より厚くして逆円弧状に形成し、ロータ鉄心内に埋設したものである。

【0013】この発明に係る永久磁石式モータは、永久

磁石の半径方向の厚みを、ロータの回転方向の前進側を反対の後進側より厚く形成し、ロータ鉄心の外周面に固定したものである。

【0014】この発明に係る永久磁石式モータは、永久磁石のロータの軸方向の長さを、ロータの回転方向の前進側より反対の後進側を長くしたものである。

【0015】この発明に係る永久磁石式モータは、ロータ鉄心に設けた永久磁石を挿入する穴と該穴に組み付けた永久磁石との間の空間の厚みを、ロータの回転方向の前進側が反対の後進側より薄く形成したものである。

【0016】この発明に係る永久磁石式モータは、ステータとロータとの間の空隙を該ロータの回転方向の前進側が反対の後進側より薄くなるように該空隙の長さを 1 極当たり不均一に形成したものである。

【0017】この発明に係る永久磁石式モータは、ロータ鉄心の直径を、各極毎に前進側をその反対の後進側より大きくしたものである。

【0018】この発明に係る永久磁石式モータは、永久磁石の着磁方向を、空隙方向に磁束を出す極は物理的な永久磁石の周方向中心線より前記ロータの回転方向の前端側にとり、前記ロータの中心方向に磁束を出す極は物理的な永久磁石の周方向中心線より該ロータの回転方向の後端側にとったものである。

【0019】

【発明の実施の形態】以下、この発明の実施の一形態について説明する。

原理説明

まず、この発明の永久磁石式モータの原理を従来の永久磁石式モータと対比して説明する。図 1 はこの発明のリラクタンストルクを併用した永久磁石式モータの 1 極分の軸方向断面図である。ステータ鉄心 1 の内周側に複数のスロット 2 が設けられ、このスロット 2 内にステータ巻線 3 が巻かれており、空隙部 (空隙) 4 に回転磁界が発生している。

【0020】そして、従来の永久磁石式モータでは、図 11 に示すように、ステータ鉄心 101 と空隙部 104 を挟んで対向するロータ鉄心 105 に永久磁石 106 ~ 109 が埋設されており、N 極 / S 極が交互に形成されている。この場合、 d 軸電流 0 の制御を行えば、ステータ巻線 103 から発生する磁束は q 軸 114a の方向となる。ただし、ロータの回転方向は 110 の方向とする。このとき、ロータ鉄心 105 の突極部 105a および突極部 105b は、ステータ巻線 103 が作る極と対向していることになり、リラクタンストルクは発生しない。

【0021】これに対し、図 1 に示すこの発明の永久磁石式モータでは、永久磁石 6 の厚みを回転方向 11 の前進側 15 を反対の後進側 16 より厚くしている。この場合、永久磁石 6 が作る磁束の向きは図 11 で示された従来の永久磁石式モータより、電気角 90° ロータの回転

方向11の前進側15に偏ることになる。このため、永久磁石6が作る磁束による鎖交磁束はロータの回転方向11の前進側15に進んだ位置で最も大きくなる。

【0022】この場合、永久磁石6によるトルクが最も大きくなるのは、d軸電流が0の場合ではなく、d軸電流がある場合となる。この時、ステータ巻線3が作る磁極は、ロータの突極部10aおよび突極部10bより回転方向11の前進側15に偏る。このため、ロータの突極部10aおよび突極部10bからみて、回転方向11の前進側15にステータの磁極が来ることになり、リラクタンストルクを用いることができる。すなわち、永久磁石6によるトルクが最大となる位置でリラクタンストルクを利用することができる。

【0023】また、このステータ電流の位相をさらに進ませてリラクタンストルクを利用した場合（d軸電流をさらに増やした場合）でも、永久磁石6の出す磁束を従来の永久磁石式モータより弱める割合が小さくなる。これにより、モータの高効率化を推進することができる。

【0024】上記の内容を、わかりやすく図2を用いて説明する。図2は永久磁石の1極分が作る空隙磁束密度分布を概略で表したもので、図11に示す従来の永久磁石式モータの構造では、ライン201で示したように電気角90°付近で空隙磁束密度がピークとなるが、図1に示したこの発明の永久磁石式モータの構造では、ライン202で示したように電気角90°より回転方向側に例えば10°～45°程度ずらせて空隙磁束密度のピークが生じる。すなわち、永久磁石の作る空隙磁束密度のピークがロータの回転方向側にずれることで、上記の効果を奏することができ、高効率なリラクタンストルク併用型の永久磁石式モータを構成することができる。

【0025】なお、永久磁石のロータの半径方向の厚みに差異を設けたものが、例えば特開平5-304737号公報で知られているが、この発明とは目的、効果が異なり、永久磁石の配置の仕方もこの発明とはまったく反対である。

【0026】以下、上記した空隙磁束密度を形成するための各種のロータ構造を具体的に説明する。

実施の形態1. 図3は、この発明の実施の形態1による永久磁石式モータの軸方向断面図である。図3において、1はステータ鉄心であり、このステータ鉄心1の内周部にはスロット2が等間隔に形成されており、このスロット2内にステータ巻線3が巻かれている。この巻線に電流を流すことで、空隙部4に回転磁界を形成する。ロータは、ステータ鉄心1の内部に組み込まれており、ロータ鉄心5および複数の永久磁石6～9によって構成されている。

【0027】この永久磁石6～9はその着磁の向きをおおよそ空隙方向（N極）あるいはその反対方向（S極）に向くようになっており、これが周方向に交互に並ぶことによって極を形成している。さらに、永久磁石6～9

は図1の原理図に示すように、ロータの回転方向11に対して前進側15がその反対の後進側16よりロータの半径方向に厚く構成されている。

【0028】また、リラクタンストルクを利用するためのロータの突極部10a～10dは永久磁石6～9間に形成されている。この場合、永久磁石N極の1極当たりの空隙磁束密度分布は、永久磁石の厚みが厚い前進側15の磁束密度が大きく、薄い後進側16の磁束密度が小さくなり、図2に示すライン202の分布となることがわかる。

【0029】以上のように、この実施の形態1によれば、永久磁石6～9の作る空隙磁束密度のピークを、電気角90°よりロータの回転方向に形成したことにより、永久磁石6～9によるトルクが最大となる位置でリラクタンストルクを利用することができる。また、このステータ電流の位相をさらに進ませてリラクタンストルクをさらに利用した場合（d軸電流をさらに増やした場合）でも、永久磁石6～9の出す磁束を従来のモータ形式より弱める割合が小さくなる。この効果により、モータの高効率化を推進することができる。

【0030】実施の形態2. 図4は、この発明の実施の形態2による永久磁石式モータのロータの軸方向断面図である。図4において、実施の形態1と異なる点は、永久磁石6～9の形状を略逆円弧状としたもので、この永久磁石6～9の厚みは、ロータの回転方向11の前進側15が厚く、反対の後進側16が薄くなっている。

【0031】以上のように、この実施の形態2によれば、永久磁石N極の1極当たりの空隙磁束密度分布は、永久磁石の厚みが厚い前進側15が大きく、永久磁石の厚みが薄い反対の後進側16が小さくなり、図2に示すライン202の分布となり、実施の形態1と同様にモータの高効率化を推進することができる。

【0032】実施の形態3. 図5は、この発明の実施の形態3による永久磁石式モータのロータの軸方向断面図である。図5において、実施の形態1と異なる点は、永久磁石6～9がロータ鉄心5の外周面に接着されていることであり、この永久磁石6～9の厚みは、ロータの回転方向11の前進側15が厚く、反対の後進側16が薄くなっている。

【0033】以上のように、この実施の形態3によれば、永久磁石N極の1極当たりの空隙磁束密度分布は、磁石の厚みが厚い前進側15が大きく、永久磁石の厚みが薄い反対の後進側16の磁束密度が小さく、図2のライン202に示した分布となることにより、実施の形態1の記載と同様の原理でモータの高効率化を推進することができる。

【0034】実施の形態4. 図6は、この発明の実施の形態4による永久磁石式モータのロータの軸方向断面図である。図6において、永久磁石6～9を取り付けるためにロータ鉄心5に設けられた永久磁石を挿入する穴1

2を、ロータの回転方向11の前進側15が径方向に薄く、反対の後進側16が厚く形成したもので、この永久磁石を挿入する穴12と永久磁石6～9の隙間(空間)13がロータの回転方向11の前進側15で薄く、反対の後進側16で厚くなっている。

【0035】以上のように、この実施の形態4によれば、ロータの回転方向11の前進側15では反対の後進側16と比較して磁気抵抗が小さくなり、その結果、図2のライン202で示した空隙磁束密度分布となり、実施の形態1記載の原理でモータの高効率化を推進することができる。

【0036】実施の形態5. 図7は、この発明の実施の形態5による永久磁石式モータのロータの概念図である。図7において、永久磁石6～9はロータの軸方向の長さを、ロータの回転方向11の前進側15が反対の後進側16より長く形成したものである。

【0037】以上のように、この実施の形態5によれば、永久磁石6～9のロータの軸方向長さの差異により、ロータの回転方向11の前進側15の空隙磁束密度が反対の後進側16より大きくなることにより、図2のライン202に示す分布となり、実施の形態1記載の原理でモータの高効率化を推進することができる。

【0038】実施の形態6. 図8は、この発明の実施の形態6による永久磁石式モータのロータの軸方向断面図である。図8において、ロータ鉄心5の周囲に永久磁石6～9を固定配置し、その永久磁石6～9の外周面を前進側が厚く反対の後進側が薄くなるように形成したもので、この構成により、ロータの回転方向11の前進側15の空隙長が反対の後進側16より小さくなっている。

【0039】以上のように、この実施の形態6によれば、ロータの突極部10a～10dは空隙長が小さくなった部分に設置されることにより、ロータの回転方向11の前進側15の磁気抵抗が反対の後進側16より小さくなり、永久磁石6～9の磁束による空隙磁束密度が図2のライン202の分布となり、実施の形態1記載の原理でモータの高効率化を推進することができる。

【0040】実施の形態7. 図9は、この発明の実施の形態7による永久磁石式モータのロータの軸方向断面図である。図9において、永久磁石6～9は着磁の向きを、図11に示す従来の永久磁石式モータではN極が矢印18の方向で、S極が矢印20の方向であったのに対し、この実施の形態7ではN極はロータの回転方向11の矢印18より前進側15である矢印19の方向とし、S極は矢印20より反対の後進側16である矢印21の方向としたものである。

【0041】以上のように、この実施の形態によれば、永久磁石6～9の着磁の向きにより、ロータの回転方向の前進側15における永久磁石による空隙磁束密度は、反対の後進側16より大きくなり、図2のライン202の分布を達成でき、実施の形態1記載の原理でモータの

高効率化を推進することができる。

【0042】実施の形態8. 図10は、この発明の実施の形態8による永久磁石式モータのロータの軸方向断面図である。図10においては、前記実施の形態7に示す方向に着磁された永久磁石6～9を逆円弧状に配置したものであり、従来の着磁の向きがN極は矢印18上に中心が来る方向で、S極は矢印20上に中心が来るラジアル配向であったのに対し、この実施の形態8では、N極はロータの回転方向11の矢印18より前進側15、たとえば矢印19を中心とするラジアル配向とし、S極は矢印20より反対の後進側16である矢印21の方向としたものである。

【0043】以上のように、実施の形態8によれば、ロータの回転方向の前進側15における永久磁石による空隙磁束密度は、反対の後進側16より大きくなり、図2のライン202の分布を達成でき、実施の形態1記載の原理でモータの高効率化を推進することができる。なお、上記の各実施の形態は、ステータの外側にロータがあるモータや、ステータが集中巻きで構成されたモータに適用しても同様の効果を奏する。

【0044】

【発明の効果】以上のように、この発明によれば、永久磁石が作る磁束を電気角90°よりロータの回転方向の前進側に偏るように構成したので、永久磁石が作る磁束による鎖交磁束はステータの極をロータの回転方向の前進側に進んだ位置で最も大きくなる。このため、永久磁石によるトルクが最も大きくなるのは、d軸電流が0の場合ではなく、d軸電流がある場合となる。この結果、ステータ巻線が作る磁極は、ロータの突極部より回転方向の前進側に偏る。つまり、ロータの突極部からみて、回転方向の前進側にステータの磁極が来ることになり、リラクタンストルクを用いることができ、永久磁石によるトルクが最大となる位置でリラクタンストルクを利用することができる。

【0045】また、このステータ電流の位相をさらに進ませてリラクタンストルクをさらに利用した場合(d軸電流をさらに増やした場合)でも、永久磁石の出す磁束を弱める割合が小さくなる。これにより、モータの高効率化を推進することができる。d軸電流を流すことで永久磁石による磁束を弱める割合を減少させるか、あるいはd軸電流を流した状態で永久磁石によるトルクを最も大きくできるリラクタンストルク併用型の永久磁石式モータを得ることができる効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】 この発明の原理を説明する永久磁石式モータの1極分の軸方向断面図である。

【図2】 永久磁石が作る磁束による空隙磁束密度の概念図である。

【図3】 この発明の実施の形態1による永久磁石式モータの軸方向断面図である。

10

20

30

40

50

【図 4】 この発明の実施の形態 2 による永久磁石式モータのロータの軸方向断面図である。

【図 5】 この発明の実施の形態 3 による永久磁石式モータのロータの軸方向断面図である。

【図 6】 この発明の実施の形態 4 による永久磁石式モータのロータの軸方向断面図である。

【図 7】 この発明の実施の形態 5 による永久磁石式モータのロータの概念図である。

【図 8】 この発明の実施の形態 6 による永久磁石式モータのロータの軸方向断面図である。

【図 9】 この発明の実施の形態 7 による永久磁石式モ

ータのロータの軸方向断面図である。

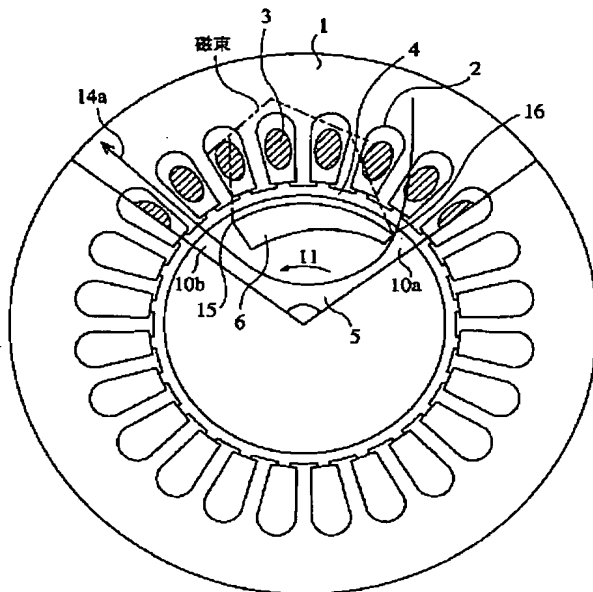
【図 10】 この発明の実施の形態 8 による永久磁石式モータのロータの軸方向断面図である。

【図 11】 従来の永久磁石式モータのロータの軸方向断面図である。

【符号の説明】

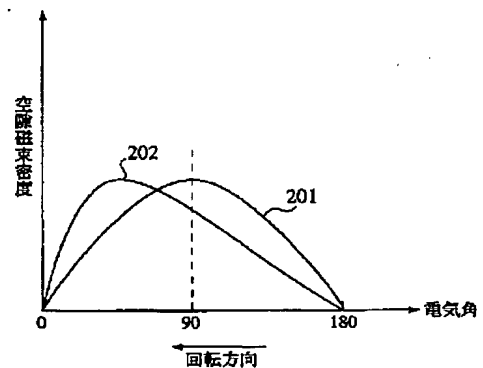
1 ステータ鉄心、3 ステータ巻線、4 空隙部（空隙）、5 ロータ鉄心、6～9 永久磁石、11 ロータの回転方向、12 永久磁石を挿入する穴、13 隙間（空間）、15 前進側、16 後進側。

【図 1】

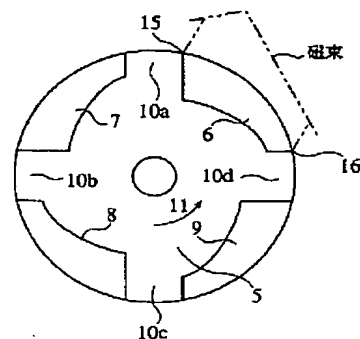


- 1: ステータ鉄心
- 3: ステータ巻線
- 4: 空隙部（空隙）
- 5: ロータ鉄心
- 6: 永久磁石
- 11: ロータの回転方向
- 15: 前進側
- 16: 後進側

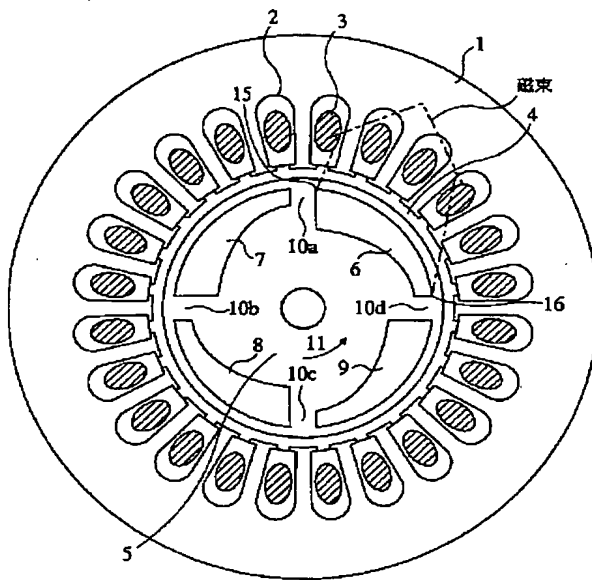
【図 2】



【図 5】

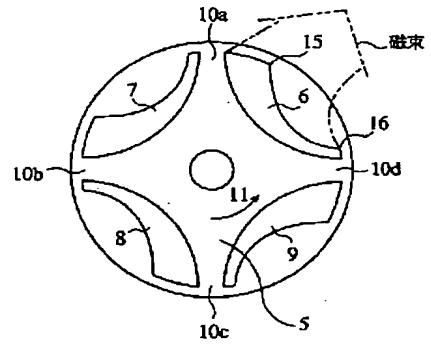


【図 3】

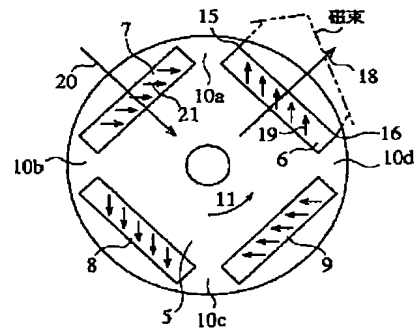


7~9: 永久磁石

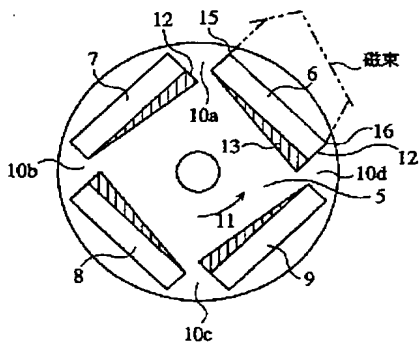
【図 4】



【図 9】

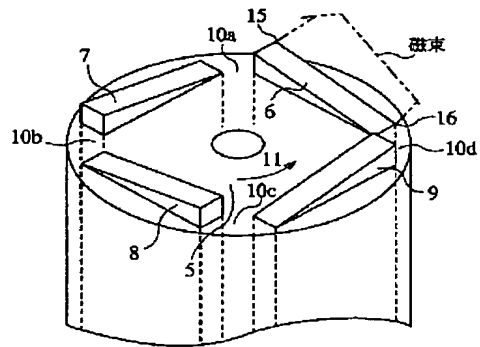


【図 6】

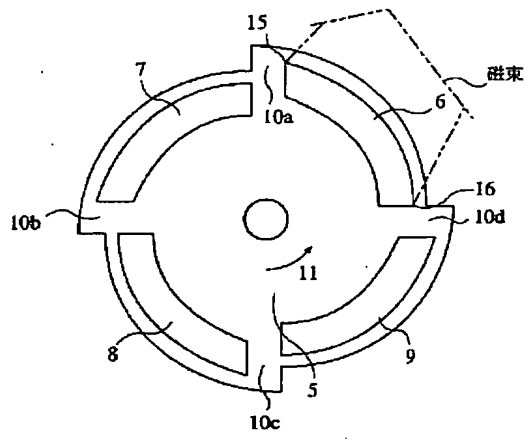


12: 永久磁石を挿入する穴
13: 隙間 (空間)

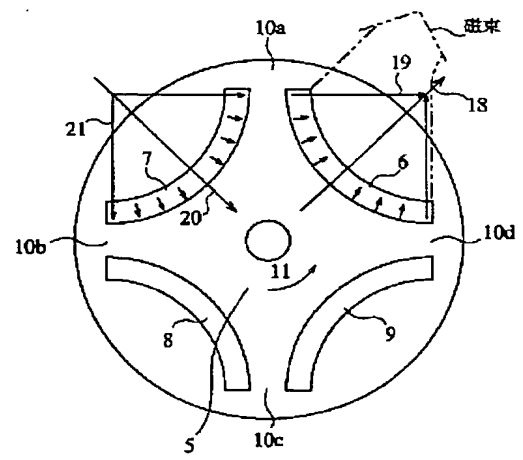
【図 7】



【図 8】



【図 10】



【図 11】

